

KENDALI LOGIKA FUZZY PADA SISTEM BATANG PENYEIMBANG BOLA

Thiang, Jaury Adi Wijaya, Anies Hannawati, Resmana Lim

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto 121-131 Surabaya
Email : {resmana; anies; thiang}@petra.ac.id, jaw@mitra.net.id

Abstrak

Batang penyeimbang bola merupakan suatu sistem dinamik yang non linier. Sistem kendali konvensional agak sukar diimplementasikan pada sistem yang non linier, karena tidak mudah mendapatkan model matematika dari sistem tersebut. Mempertimbangkan permasalahan tersebut, dalam paper ini akan dibahas teknik kendali logika fuzzy yang diimplementasikan pada batang penyeimbang bola.

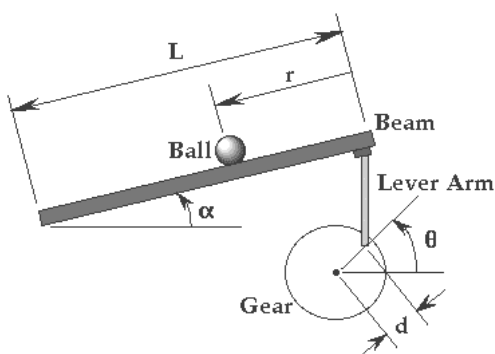
Kendali logika fuzzy diimplementasikan menggunakan mikrokontroler 8031. Di sini digunakan 4 input yaitu error dan delta-error posisi, serta sinyal error dan delta-error sudut batang penyeimbang. Sejumlah fuzzy if-then rules diterapkan disini, yang diekstrak menggunakan logika pakar yang ditala secara trial and error. Strategi Min-Max dari Mamdani diterapkan disini, serta hasil proses fuzzy dikembalikan ke bentuk crisp menggunakan metode center of gravity (COG) yang kemudian digunakan untuk mencatu motor penggerak DC.

Sejumlah pengujian dilakukan untuk melihat respon sistem terhadap variasi berat bola dan posisi yang diinginkan. Dari keseluruhan hasil pengujian, terlihat bahwa kendali logika fuzzy cukup mampu dalam mengendalikan sistem batang penyeimbang bola ini. Respon sistem dapat ditala dengan mengubah-ubah membership function input maupun output serta menala fuzzy rules berdasarkan pengamatan. Sistem respon dapat dilihat di monitor PC dengan demikian memudahkan pengguna dalam mengamati dan menala kendali fuzzy ini. Di masa mendatang sedang dikembangkan agar penalaan fuzzy bisa dilakukan secara otomatis berdasarkan data input-output (data driven).

KATA KUNCI : Kendali Logika Fuzzy, Batang Penyeimbang Bola, Mikrokontroler MCS51

1. Pendahuluan

Dalam sistem batang penyeimbang bola, sebuah bola yang diletakkan di atas batang dapat bergerak bebas sepanjang batang tersebut. Batang dihubungkan dengan sebuah motor yang dilengkapi dengan gearbox sehingga jika gearbox motor berputar dengan sudut θ , maka sudut batang akan berubah sebesar α . Pada saat posisi batang tidak lagi vertikal, gaya gravitasi akan menyebabkan bola bergerak sepanjang batang.



Gambar 1. Batang Penyeimbang Bola

Bila diasumsikan bola bergerak tanpa slip dan gesekan, maka dari gambar di atas diperoleh persamaan untuk gerakan bola yaitu :

$$0 = \left(\frac{J}{R^2} + m \right) \ddot{r} + mg \sin \alpha - m r (\dot{\alpha})^2 \quad (1)$$

Dimana:

- m = massa bola
- R = jari-jari bola
- d = lever arm offset
- g = percepatan gravitasi
- L = panjang batang
- J = momen inersia bola
- r = koordinat posisi bola
- α = sudut batang
- θ = sudut gearbox motor

Linierisasi dari persamaan di atas dengan pendekatan α mendekati nol dan $\alpha = \theta \cdot d/L$ maka akan menjadi persamaan berikut :

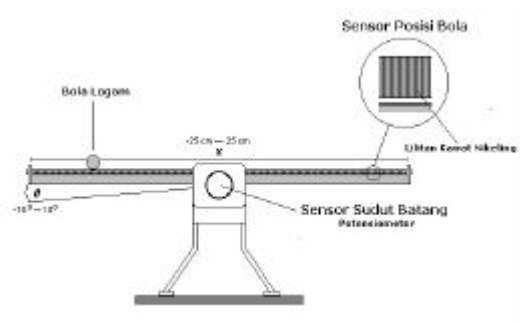
$$\left(\frac{J}{R^2} + m \right) \ddot{r} = -mg \frac{d}{L} \theta \quad (2)$$

Dengan transformasi Laplace maka transfer function dari posisi bola ($R(s)$) terhadap sudut gearbox ($\theta(s)$) adalah :

$$\frac{R(s)}{\Theta(s)} = -\frac{mgd}{L\left(\frac{J}{R^2} + m\right)} \frac{1}{s^2} \quad (3)$$

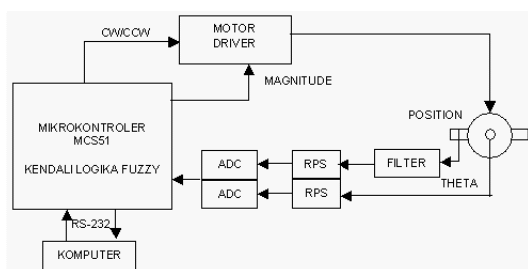
Dari persamaan 1 di atas terlihat bahwa sistem merupakan sistem non linier walaupun sistem tersebut dapat dilinierisasi. Karena sistem batang penyeimbang bola merupakan sistem non linier, maka pada makalah ini dicoba mengimplementasikan kendali logika fuzzy pada sistem yang non linier.

2. Deskripsi Plant



Gambar 2. Plant Batang Penyeimbang Bola

Gambar 2 menunjukkan sistem mekanik plant yang dirancang sedangkan gambar 3 menunjukkan blok diagram sistem. Sensor posisi bola dibuat dari lilitan kawat nikelin dengan diameter 0,5 cm yang dipasang sejajar. Untuk mendapatkan besar sudut batang digunakan potensiometer. Kendali logika fuzzy diimplementasikan dengan menggunakan mikrokontroler MCS51. Kedua informasi yaitu besar sudut dan posisi bola akan dibaca oleh mikrokontroler untuk kemudian diolah dan menghasilkan aksi kendali. Sebuah motor DC digunakan untuk menggerakkan batang yang akan menyeimbangkan bola pada posisi yang telah ditentukan.

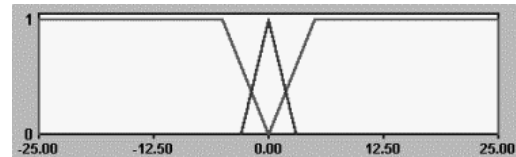


Gambar 3. Blok Diagram Sistem

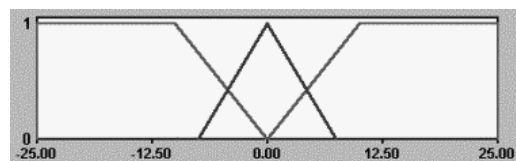
3. Kendali Logika Fuzzy

Proses fuzzy inference meliputi fuzzifikasi, evaluasi rule dan defuzzifikasi dilakukan dengan bantuan PetraFuz fuzzy development system yang dikembangkan oleh laboratorium sistem kendali pada instansi penulis.

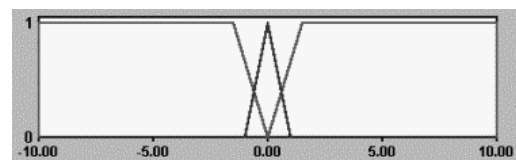
Pada fuzzy sistem yang didisain, digunakan empat crisp input yaitu error posisi, Derror posisi, error sudut dan Derror sudut dan dua crisp output yaitu arah putaran motor dan kecepatan motor. Membership function setiap input mempunyai tiga label yaitu Negative (N), Zero (Z) dan Positive (P) dengan bentuk segitiga dan trapesium sedangkan crisp output mempunyai tujuh label yaitu Negative Big (NB), Negative Medium (NM), Negative Small (NS), Zero (Z), Positive Small (PS), Positive Medium (PM) dan Positive Big (PB). Tanda positif atau negatif pada crisp output menyatakan arah putaran motor sedangkan harga mutlaknya menyatakan kecepatan motor. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode center of gravity (COG). Bentuk membership function yang didisain dapat dilihat pada gambar 4 sampai gambar 8 sedangkan sebagian rule yang telah didisain dapat dilihat pada tabel 1.



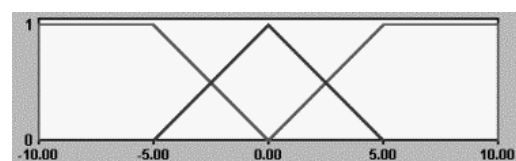
Gambar 4. Membership Function Error Posisi



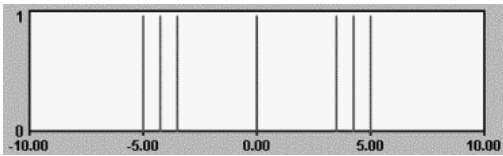
Gambar 5. Membership Function Derror Posisi



Gambar 6. Membership Function Error Sudut



Gambar 7. Membership Function Derror Sudut



Gambar 8. Membership Function Output

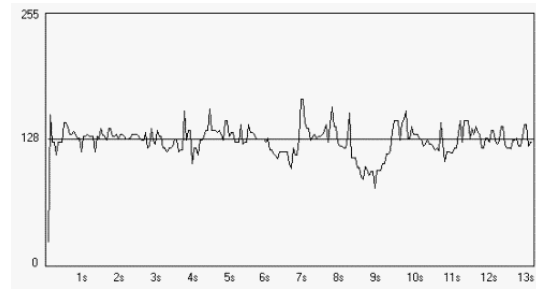
Tabel 1. Sebagian Database Rule

No.	Crisp Input				Crisp Output
	Error Posisi	Derror Posisi	Error Sudut	Derror Sudut	
1.	N	Z	Z	Z	NS
2.	P	Z	Z	Z	PS
3.	Z	Z	Z	Z	Z
4.	N	Z	N	Z	NB
5.	P	Z	N	Z	Z
6.	Z	Z	N	Z	NS
7.	N	Z	P	Z	Z
8.	P	Z	P	Z	PB
9.	Z	Z	P	Z	PS
10.	N	N	Z	Z	NS
11.	P	N	Z	Z	PB
12.	Z	N	Z	Z	PS
13.	N	N	N	Z	NS
14.	P	N	N	Z	PM
15.	Z	N	N	Z	PS
16.	N	N	P	Z	Z
17.	P	N	P	Z	PB
18.	Z	N	P	Z	PS
19.	N	P	Z	Z	NB
20.	P	P	Z	Z	PS
21.	Z	P	Z	Z	NS
22.	N	P	N	Z	NB
23.	P	P	N	Z	Z
24.	Z	P	N	Z	NS
25.	N	P	P	Z	NM
26.	P	P	P	Z	PS
27.	Z	P	P	Z	NS

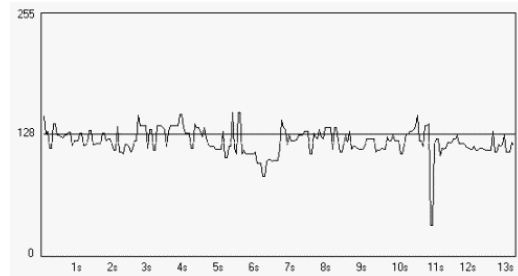
4. Hasil Pengujian

Beberapa percobaan telah dilakukan untuk menguji sistem yang telah dibuat. Pengujian dilakukan dengan variasi berat bola dan variasi posisi bola yang diinginkan. Pada pengujian terhadap variasi bola, digunakan tiga jenis bola yang dikategorikan kecil, sedang dan besar. Pada pengujian terhadap variasi posisi bola, diambil tiga posisi yaitu di sisi kiri, tengah dan sisi kanan. Grafik hasil pengujian respon sistem dapat dilihat pada gambar 9 sampai gambar 14.

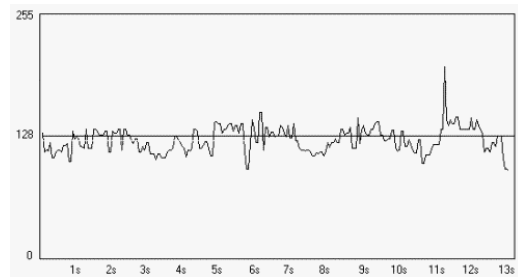
Bila melihat grafik respon sistem terhadap variasi berat bola baik untuk bola kecil, sedang dan besar, semuanya mempunyai respon yang hampir sama. Sehingga dapat dikatakan bahwa ukuran dan berat bola tidak terlalu mempengaruhi respon sistem.



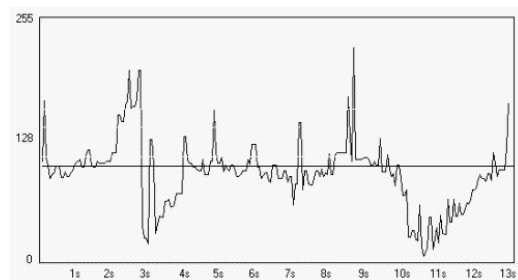
Gambar 9. Respon Sistem Bola Kecil



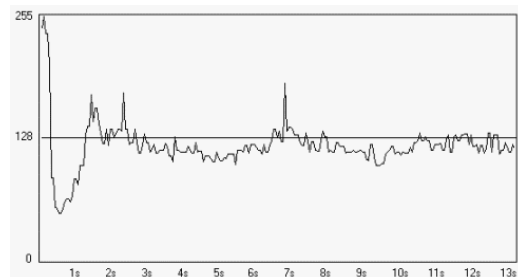
Gambar 10. Respon Sistem Bola Sedang



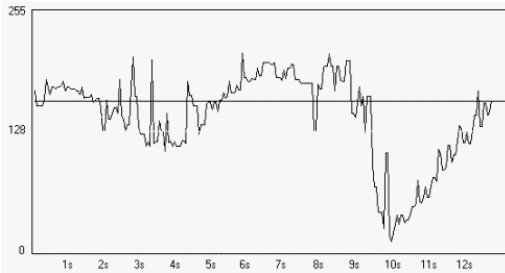
Gambar 11. Respon Sistem Bola Besar



Gambar 12. Respon Sistem Posisi Bola di Kiri



Gambar 13. Respon Sistem Posisi Bola di Tengah



Gambar 14. Respon Sistem Posisi Bola di Kanan

Dari grafik respon sistem terhadap variasi posisi setimbang bola, respon yang terbaik adalah posisi setimbang di tengah batang. Posisi kiri dan kanan mempunyai respon yang kurang baik, walaupun demikian sistem masih dapat mengendalikannya.

Pengujian sistem juga dilakukan dengan memberikan gangguan berupa bola digerakkan dari posisi setimbangnya dengan menggunakan tangan. Dari grafik respon sistem terlihat bahwa sistem masih mampu mengatasi gangguan.



Gambar 15. Respon Sistem terhadap Gangguan

5. Kesimpulan

Dari percobaan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Sistem kendali logika fuzzy cukup mampu untuk mengendalikan sistem batang penyeimbang bola yang merupakan sistem non linier.
- Respon sistem masih dapat diperbaiki dengan memperbaiki sistem sensor posisi bola sebagai akibat dari kurang baiknya kontak antara bola dengan permukaan sensor.
- Pengujian dapat dilanjutkan dengan menggunakan membership function yang jumlah labelnya lebih banyak sehingga dimungkinkan mendapatkan respon yang lebih baik.

6. Daftar Pustaka

- [1]. K.C, Ng dan M.M. Trivedi. "Fuzzy Logic Controller and Real Time Implementation of A Ball Balancing Beam", Orlando, FL: Application of Fuzzy Logic Technology II, April 1995.
- [2]. Klir, George J dan Yuan Bo. "Fuzzy Sets and Fuzzy Logics : Theory and Applications", New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1995.
- [3]. Jamsihidi, M., "Fuzzy Logic and Control", New Jersey: Prentice-Hall, 1993.
- [4]. Thiang, Hanawati, A., and Resmana. "Petrafuz : Sistem Pengembangan Kendali Fuzzy Logic berbasis Mikrokontroler Keluarga MCS51", Prosiding Seminar Nasional Penerapan Teknologi Kendali dan Instrumentasi pada Pertanian, BPPT-Jakarta. Oktober, 1998.
- [5]. URL, <http://hpme12.me.cmu.edu/matlab/html/examples/ball/ball.html>
- [6]. "Control Tutorial for Matlab, Example: Modelling the Ball and Beam Experiment", University of Michigan.

7. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada rekan-rekan laboratorium Sistem Kendali dan teman-teman dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Petra atas dukungan yang telah diberikan sehingga penelitian ini bisa terlaksana.